

METAMORFOSIS PLÁSTICAS Y BIOLÓGICAS DE LAS HOJAS
PÁG. 8



ÍNDICE DE LOS NÚMEROS 1 A 50 DE *BIODIVERSITAS*



AÑO 8 NÚM. 50 SEPTIEMBRE DE 2003

BioDIVERSITAS

BOLETIN BIMESTRAL DE LA COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD

LA PALMA CAMEDORA

La mirada atenta busca la planta adecuada. Don Feliciano, indígena chinanteco de Oaxaca, trabaja en silencio; con rápidos y precisos movimientos corta un par de hojas de cada palma camedora, luego las forma en una serie de manojos y finalmente, al caer la tarde, junta su cosecha en un lienzo que a manera de morral transporta hasta su pueblo. Con la ayuda de su familia, realiza una selección eliminando las hojas defectuosas, rotas o manchadas. Al día siguiente las lleva al comprador regional, que con su camioneta las transporta a un centro de acopio, donde se realiza nuevamente una selección más fina y se empacan los manojos en cajas. Una vez a la semana llega un camión refrigerado, que recibe las cajas y las transporta hasta la compañía importadora mayorista en San Antonio, Texas. De allí se distribuye a las florerías que venden al menudeo.

Fulvio Eccardi

LA PALMA CAMEDORA



Un cliente entra a una de esas tiendas, hace un pedido de una corona de muerto que se elabora con flores y con hojas de palma camedora, y que acompañará por unas horas a un difunto en su último viaje. Esta historia se repite desde hace varias décadas una y otra vez, una historia de sudor, comercio y arreglos florales.

Las palmas son las plantas más abundantes de las selvas tropicales: cerca de 18% del total de especies de palmas que se conocen en el mundo viven en México. De ellas, 130 son de *Chamaedorea*, género que sólo existe en el continente americano, 50 se hallan en nuestro territorio y convierten a México en el país con el mayor número de especies y, muy probablemente, en uno de los centros de diversificación del género.

La palmas del género *Chamaedorea* viven principalmente en las selvas altas y medianas perennifolias, subperennifolias y subcaducifolias, así como en el bosque mesófilo, desde el nivel del mar hasta más de 2 000 metros de altitud. Algunas especies se encuentran en bosques de encino y de pino-encino; en las selvas medianas caducifolias viven varias de ellas especialmente cerca de ríos y arroyos, y en las barrancas. Son propias del sotobosque, requieren sombra, generalmente prosperan en suelos pedregosos, con buen drenaje y abundante materia orgánica. La única que puede vivir a pleno sol es la *C. seifrizii*, de hoja gruesa, del centro y norte de la península de Yucatán.

La altura y el tamaño de las hojas varía de una especie a otra, desde la pequeña *C. tuerckheimii*, hasta la majestuosa *C. woodsoniana*, que puede tener más de diez metros de altura, o *C. elatior*, que por ser trepadora fácilmente las sobrepasa. Estas palmas tienen una enorme capacidad de adaptación a las perturbaciones y transformaciones de su hábitat, lo cual les ha permitido soportar fuertes cambios climáticos, poder vivir en tipos de vegetación tan diferentes y en situaciones ambientales muy diversas.

Poco se sabe acerca de la biología de las especies de *Chamaedorea*. Tienen los sexos separados, es decir que hay plantas masculinas y femeninas, aunque puede haber plantas hermafroditas. No se conoce con precisión la manera como ocurre la polinización; las que producen polen seco posiblemente son polinizadas por el viento, mientras que las de polen pegajoso, por medio de insectos. Florecen una vez al año, pero dan varias inflorescencias, lo que provoca que la fructificación se alargue por varios meses. El número de frutos que da una planta varía de una especie a otra; por ejemplo, en *C. ernesti-augusti* son muy pocos, de 40 a 50, mientras que en *C. elegans* pueden ser más de 500. La mayoría de los frutos se quedan cerca de donde caen, alrededor de la planta madre, lo cual explica la dis-

En 1998 el mercado de Estados Unidos consumió casi 2 200 millones de tallos verdes, de los cuales 14% fueron de Chamaedorea, la mayoría proveniente de México.

tribución en manchones característica de las especies de *Chamaedorea*. El tiempo que vive cada una de las especies en condiciones silvestres no se conoce con certeza; se estima que *C. elegans* entre 15 y 20 años, mientras que *C. tepejilote* puede alcanzar los 60.

Todas estas características permiten comprender la heterogeneidad ambiental en que viven estas palmas, y por ello en un mismo sitio a veces coexisten varias especies distintas, con un nicho específico cada una y distribuyéndose muchas veces en un gradiente altitudinal.

El resultado es una amplia variación en la densidad de estas palmas a veces en sitios muy cercanos y hace difícil estimar el número de plantas por hectárea. Para tener una idea de la densidad de *Chamaedorea* en lugares conservados se pueden tomar los datos obtenidos por Vovides y García en un estudio realizado en 1994 en Veracruz, quienes calculan, por hectárea, un promedio de 680 plantas de *C. tenella*, 2 400 de *C. metallica* y 9 000 de *C. monostachys*.

A finales del siglo XIX las principales casas de horticultura de Bélgica, Inglaterra y Francia vendían plantas de *Chamaedorea*. Sin embargo, el comercio de sus especies en México se inició de manera masiva alrededor de los años cuarenta. Se cuenta que en la Huasteca, por ejemplo, en 1945 un estadounidense de apellido Wilson comenzó allí la compra de semilla de *C. elegans*, con el fin de llevarla a su país para sembrarla y comercializarla en pequeñas macetas como planta de ornato; sin embargo, muy pronto el señor Luciano Guerra, quien actualmente posee el mayor negocio de semillas en el país, se interesó en el asunto y desplazó a Wilson. En cuanto a la hoja, se dice que fue el señor Everett quien inició la importación de hoja de *C. elegans* en la segunda mitad de la misma década, y posteriormente fundó la compañía Continental Floral Greens, que actualmente comercializa casi la totalidad de la palma que se extrae y cultiva en México. Ciertamente, algunas especies de *Chamaedorea* eran usadas desde hacía mucho tiempo en el país. Se hacían arreglos florales en las iglesias con motivo de algunas fiestas, y en los cementerios para el día de muertos.

En 1998 el mercado de Estados Unidos consumió casi 2 200 millones de tallos verdes, de los cuales únicamente 17% fueron importados. *Polipodium scouleri*, follaje verde que se cultiva en Estados Unidos, representa casi 62 % de las compras y *Chamaedorea* casi 14%, la mayoría proveniente de México y la otra parte de Guatemala. La semilla de *Chamaedorea* es de uso muy popular en todo el mundo para la producción de plantas en maceta y jardinería de







La palma camedora domina el sotobosque en el bosque tropical de la Sierra de Santa Marta, en Veracruz.

La cosecha de palma en la Chinantla en Oaxaca es laboriosa debido al terreno cárstico de la región.

Cosecha de semilla en San Luis Potosí.



Para llegar a los centros de acopio la palma es transportada desde la selva a los poblados, ya sea a pie, utilizando burros de carga o en lanchas, como en este caso de la Chinantla, en Oaxaca.

Áreas naturales protegidas y distribución del género *Chamaedorea*

Cuadro 5. Precios promedio de la palma en los distintos niveles de comercialización.

Agente	Precio*
[illegible]	[illegible]
Acopiador local	14.00
[illegible]	[illegible]
Mayorista en México	30.00
[illegible]	[illegible]

* Precios promedio en pesos por gruesa.
Fuente: Elaboración propia, abril de 2001.

paisaje. Con gran diferencia, el mayor volumen de venta entre las de su género es de *C. elegans*.

Seis son los principales importadores de hojas de palma y semillas de *Chamaedorea* y están ubicados en Texas, para surtir principalmente los estados del medio oeste y el oeste, y en Florida para abastecer la costa este. Muchos de ellos han operado desde los años 1940 y cuentan con sistemas de recolección y distribución muy bien organizados tanto en México y Guatemala como en Estados Unidos: en la industria floral la eficiencia y rotación rápida del producto es esencial. Una ventaja de las palmas es su relativamente larga vida en mostrador, que llega hasta las dos semanas.

Actualmente la palma *Chamaedorea* cuenta con un mercado internacional bien establecido; el precio de los productos de la palma ha mantenido la producción principalmente en las áreas forestales naturales, con una naciente tendencia hacia el cultivo bajo sombra en una especie de semicultivo realizado en la misma selva. La recolecta de semillas y hojas es llevada a cabo por campesinos, la mayor parte indígenas, que obtienen un ingreso a veces importante comparado con su economía de subsistencia. Tamaulipas, San Luis Potosí, Hidalgo, Veracruz, Oaxaca, Tabasco, Campeche y Chiapas son los estados de mayor producción.

En algunas comunidades se extrae la semilla silvestre, se estimula su germinación (1) para después sembrar la palma en pequeños viveros (2, 3). Existen también grandes viveros comerciales como los de la empresa Continental Floral Greens, en Catemaco, Veracruz (4).



1



2



3

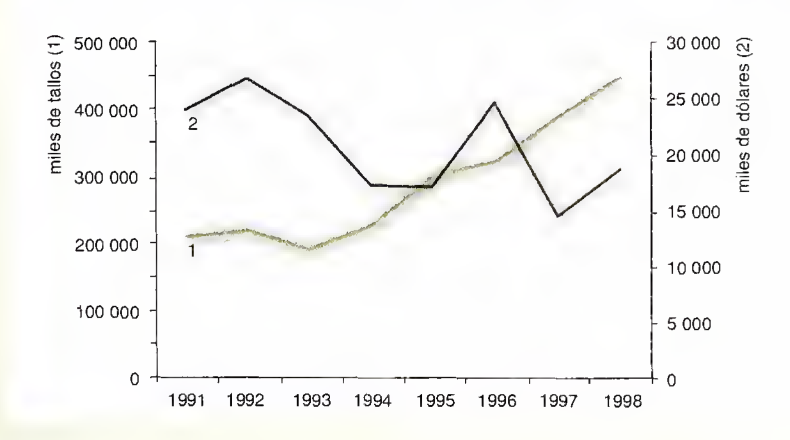


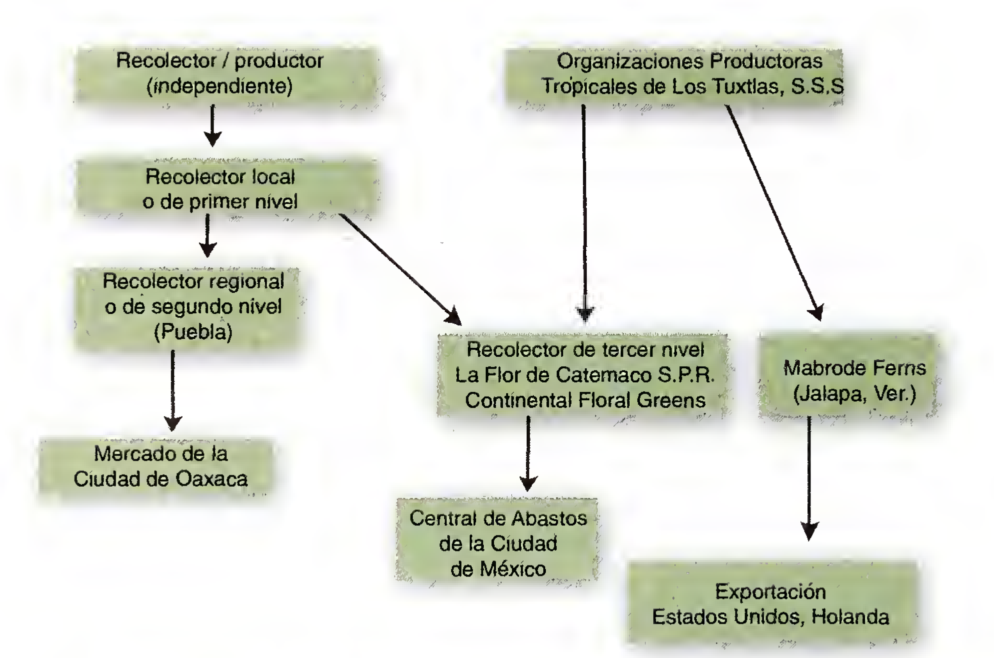
4

En México los canales de comercialización, del comprador regional al exportador, están muy concentrados; el precio pagado al recolector es muy bajo, de 1 a 1.20 US dólares por una gruesa (144 hojas), cantidad que en Estados Unidos alcanza apenas para comprar una docena. Los bajos precios, el tiempo en que las palmas tardan en regenerarse, la dificultad en el corte de las hojas y la disponibilidad de otras fuentes de ingreso, hacen de la cosecha de *Chamaedorea* una actividad esporádica. Aun así, en ocasiones —como la actual crisis de los precios del café— los campesinos deben cortar grandes cantidades de hoja de palma para sobrevivir, al margen del proceso de regeneración de las poblaciones silvestres.

La explotación excesiva de las especies comerciales, más la drástica reducción de las selvas tropicales húmedas en los decenios pasados, han afectado muchas de las especies de *Chamaedorea*, en especial las de distribución restringida o las que se venden para semilla. De las especies de este género, 38 están actualmente bajo la protección de la norma oficial mexicana NOM-059-ECOL-94. Paradójicamente, de éstas sólo 14 poseen algún uso, y las más comerciales —aquellas que se venden en grandes cantidades como follaje— no están incluidas. Como respuesta,

Volumen y valor de las exportaciones a Estados Unidos de *Chamaedorea*





Canal de comercialización, región Veracruz

Distribución (D) y estado de conservación (E) según la NOM-059-ECOL-94

D	E	Especie	Partes usadas				
			hoja	semilla	planta	flor	tallo
E	A	*C. cataractarum*		X			
		C. concolor *	X				
	A	*C. elatior*		X			X
		C. elegans *	X	X	X		
	A	*C. ernesti-augusti*	X	X			
E	PE	*C. glaucifolia*			X		
	A	*C. graminifolia*	X				
E	A	*C. hooperiana*	X	X			
		C. liebmannii	X				
E	A	*C. metallica*		X	X		
		C. neurochlamys	X				
		C. oblongata *	X				
E	A	*C. pochutlensis*	X		X		
	A	*C. quezalteca* *	X				
		C. radicalis		X	X		
		C. seifrizii	X	X			
E	A	*C. stolonifera*			X		
	PE	*C. tenella*		X	X		
		C. tepejilote *	X	X		X	X
	PE	*C. tuerckheimii*			X		
	A	*C. woodsoniana*					X

E = endémica; A = amenazada; PE = en peligro de extinción; * especies más comerciales

los productores han comenzado a cultivar algunas de las especies de mayor demanda, como *C. elegans*, tanto a la sombra de la misma selva húmeda, como en las plantaciones de café y a la sombra de otros cultivos.

Para mantener y fortalecer el papel de la palma como cultivo importante para la generación de ingresos y para sostener su función en la protección de las áreas forestales naturales, una posible opción podría ser su certificación como producto cosechado de manera sustentable en la selva. Pero también hay que crear vínculos más directos entre los consumidores y productores de palma, establecer esquemas de microfinanciamiento para los grupos de productores que les permitan invertir en vehículos de transporte e instalaciones para la clasificación y el almacenamiento. Asimismo es necesario financiar nuevas investigaciones acerca del manejo sustentable de las especies de *Chamaedorea*, y de su relación con la conservación de los bosques que la abrigan bajo su sombra.



En los centros de acopio las hojas se seleccionan para eliminar las rotas o manchadas y se preparan para su comercialización.

* Este artículo se editó a partir del estudio En busca de un mercado de América del Norte para la palma sustentable, patrocinado por la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) de América del Norte, con la colaboración de la Conabio, que combina el trabajo de dos documentos de investigación: el primero de Dean Current y David Wilsey y el segundo de Fulvio Eccardi, César Carrillo, Nasim Musalem y Clara Ramos en colaboración con Esteban Martínez y Luis Aznar. El documento íntegro está disponible en: www.cec.org/pubs_docs/documents/index.cfm?varlan=espanol&ID=1028

Producción de hoja de palma camedora en México, 1994-1999

Estado	Año	Producción (ton)
Campeche	1994	0
	1995	0
Chiapas	1994	407
	1995	68
	1996	435
	1997	1 052
	1998	515
	1999	500
Hidalgo	1994	114.7
	1995	170
	1996	30
	1997	0
	1999	0
Oaxaca	1994	90
	1995	148
	1996	42
	1997	146
	1998	182
	1999	108

Fuente: Departamento de Aprovechamiento Forestal No Maderable, Semarnat, 2001.

Estado	Año	Producción (ton)
San Luis Potosí	1994	437
	1995	254
	1996	150
	1997	478
	1998	150
	1999	359
Tabasco	1994	0
	1996	17
	1997	36
	1998	40
	1999	31
Tamaulipas	1994	432.5
	1995	807
	1996	633
	1997	574
	1998	578
	1999	596
Veracruz	1994	12.9
	1995	150
	1996	598
	1997	610
	1998	800
	1999	872



Los manojos de palma se empacan en cajas de cartón que se mantienen a bajas temperaturas para ser transportados en camiones refrigerados (arriba).
El principal uso de la palma es para arreglos florales y coronas de muertos (izquierda).

ELENA ÁLVAREZ-BUYLLA ROCES
FOTOGRAFÍAS DE MARIANA YAMPOLSKY

METAMORFOSIS PLÁSTICAS Y BIOLÓGICAS DE LAS HOJAS

Hace más de doscientos años, el gran pensador alemán Johann Wolfgang von Goethe aprehendió con una brillante intuición holística la naturaleza vegetal y la diversidad de las formas de las plantas; sobre todo, de las distintas manifestaciones de sus órganos más prominentes: las hojas. Las hojas de las plantas, con claras simetrías pero siempre con giros caprichosos, en aglomeraciones peculiares o de colosales tamaños, inspiraron su teoría acerca de la morfología de las plantas. Las formas vegetales y los límites que imponen al espacio o las exploraciones que de él hacen, evocan creaciones artísticas con perfiles sorprendentes, contornos y brillos metálicos. Así se transforma su homogénea naturaleza foliar en una diversidad de formas poderosas y cautivadoras. Pero Goethe, también artista, vio en las hojas el tema unificador para entender las muy variadas formas de las plantas y proponer su teoría científica sobre la metamorfosis de los vegetales.

Las formas vegetales: variaciones sobre un mismo tema

Desde su juventud, como autor de la gran novela *Penas del joven Werther*, Goethe expresaba su admiración por la naturaleza. Una novela trágica que muy pronto atrajo la atención de sus contemporáneos: inspiró poemas, obras teatrales y óperas. En ella, el escritor de menos de 25 años ya deja ver la semilla de su transformación profesional que más tarde lo convertiría en el padre de los estudiosos de las formas vegetales y animales, el padre de la morfología. Fascinado desde joven por las diversas manifestaciones de la naturaleza y consciente de nuestra pertenencia a ella, escribe en esta novela:

"¡La naturaleza! Estamos envueltos y abrazados por ella, incapaces de emerger de ella y de penetrarla más profundamente. Espontánea y desprevenida, ella nos recibe en los circuitos de su danza, ella misma deriva hacia adelante con nosotros, hasta que nos cansamos y nos caemos de sus brazos."

A pesar de sus éxitos literarios, Goethe decidió servir a la corte de Weimar asumiendo diversas responsabilidades y fue entonces cuando desarrolló su profundo interés en la botánica, con la ayuda de sus maestros de la cercana Academia de Jena. Los bosques y jardines locales lo inspiraron y le sirvieron para practicar y aplicar sus teorías. Pero no fue sino hasta su viaje a Italia cuando su teoría unificadora sobre las formas de las plantas empezó a cristalizar.

En efecto, Goethe encontró en sus viajes la inspiración de la teoría sobre la metamorfosis de las plantas que más de doscientos años después, con los recientes avances de la llamada biología molecular, ha podido ser puesta a prueba de manera experimental.

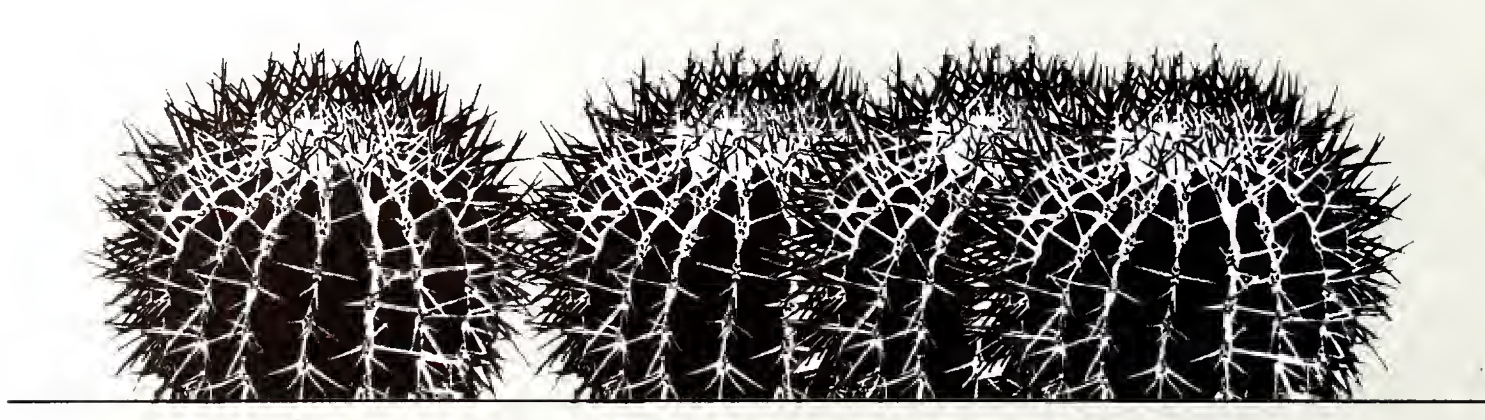
Goethe sufrió una crisis de vocación a los 37 años de edad y decidió cambiar de vida. Una madrugada de 1786, el 3 de septiembre, saltó del sofá, adoptó un nombre falso y decidió buscar fortuna en Italia, donde se sumergió en el estudio de la naturaleza. La botánica se volvió una de sus pasiones. Siempre le había interesado descubrir los aspectos comunes de los seres vivos, estaba empeñado en encontrar la unidad fundamental que yacía bajo la superficie diversa de sus formas. Al conocer nuevas y diversas formas, en su viaje a Italia corroboró que las plantas compartían una morfología común de construcción, que en las plantas había un solo tema unificador epitomizado por la hoja. Se le ocurrió que el mismo tema se repetía una y otra vez a lo largo de la vida de todas las plantas. Esta idea se resume en la siguiente cita suya:

"Mientras caminaba en los jardines públicos de Palermo, me vino como un destello la idea de que en el órgano de la planta que estamos acostumbrados a llamar hoja subyace el verdadero Proteo (dios marino de la mitología grecorromana que asume varias formas), quien puede esconderse o revelarse en todas las formas vegetales. Desde el princi-

Contenido de los números 1 a 50 de *Biodiversitas*



Con motivo de la publicación del número 50 de Biodiversitas *incluimos esteos índices de los artículos publicados en cada número. En el índice temático los números que aparecen a continuación de cada tema indican el número de* Biodiversitas *en el que se puede consultar el tema señalado. Todos los números del boletín se pueden consultar en* ***www.conabio.gob.mx/institucion/conabio_espanol/doctos/biodiversitas.html***
Invitamos a nuestros lectores a que nos envíen sus comentarios y sugerencias sobre el boletín; los autores que quieran someter a consideración sus artículos pueden escribirnos a ***biodiversitas@xolo.conabio.gob.mx***



Índice **temático** de los números 1 a 50 de *Biodiversitas*



pio hasta el fin, la planta no es otra cosa más que hoja, que es tan inseparable del germen futuro que no se puede pensar en uno sin el otro".

El tema de la hoja en las plantas se desdobla en subtemas que van desde grandes pencas u hojas de agaves que se confunden con el espacio que las rodea, hasta las variadas formas de hojas de palmas, partidas por rendijas de luz, y las de helechos de vernación espiralada con modales caprichosos. También hay temas que dominan en las hojas circulares y flotantes de los lirios acuáticos en flor o de las hojas de plátano que marcan el límite del espacio blanco con imperfecciones dramáticas.

La diversidad de formas vegetales lo inspiró para llegar a la conclusión de que el tema unificador en la variedad vegetal era la hoja. Esta idea la desarrolló a profundidad en su obra *La metamorfosis de las plantas*, que publicó de regreso en Alemania, cuatro años después de su viaje a Italia. Esta obra comienza con la descripción del ciclo de vida típico de un vegetal. Después de la germinación de una semilla, un pequeño vástago con una (monocotiledóneas, como el maíz, el arroz, los pastos, las palmas) o dos (dicotiledóneas, como la mayoría de las flores que conocemos) hojas embrionarias (refiriéndose aquí a los cotiledones) emerge del suelo. Conforme la plántula crece, se van produciendo hojas de manera sucesiva, espaciadas alrededor del eje del tallo. Hasta este momento, la planta sólo consta de tallo y hojas. Es interesante notar que Goethe no se preocupó en absoluto por la raíz de las plantas, que es el órgano que generalmente las ancla al suelo y por el cual absorben nutrientes y agua, pero que en la mayoría de los casos está oculto bajo tierra. En algunas plantas, como en los mangles, las raíces están a la vista en formaciones asombrosas que soportan la vida de éstos en las márgenes ribereñas.

En su descripción del ciclo de vida de las plantas, Goethe continuaba: "eventualmente, sin embargo, la planta comienza a formar flores" y para él, las diferentes partes de las flores eran fundamentalmente equivalentes a las hojas. Sólo que en lugar de estar espaciadas alrededor del tallo, en las flores las hojas transformadas están comprimidas y se distribuyen alrededor de anillos concéntricos. A estos anillos de órganos iguales en las flores se les llama, desde entonces, verticilos.

Variaciones o formas florales del Proteo vegetal

Goethe proponía, entonces, que los órganos de las flores, así como las hojas de diversas formas, eran solamente manifestaciones distintas de un tema común subyacente. Este tema se podía desarrollar de diferentes maneras durante el crecimiento de las plantas, primero como hojas verdes, y después como los órganos de la flor: sépalos, pétalos, estambres y carpelos. Como si un mismo órgano simplemente pasara por una serie de distintas formas durante el

"Mientras caminaba en los jardines públicos de Palermo, me vino como un destello la idea el verdadero Proteo (dios marino de la mitología grecorromana que asume varias formas), el fin, la planta no es otra cosa más que hoja, que es tan inseparable del germen futuro que

---





ciclo de vida de las plantas. A este proceso de cambio le llamó Goethe metamorfosis, a manera de analogía con los cambios que muchos insectos experimentan durante su vida. Pero a diferencia del caso de los insectos, en los cuales el organismo completo sufre los cambios, la versión de metamorfosis de Goethe es mucho más abstracta y se refiere solamente a partes del organismo que van expresando cambios y dando lugar a los distintos órganos transformados a partir de un plan común: el de la hoja. De acuerdo con esta teoría, las partes aéreas de las plantas no son otra cosa que tallos y una serie de órganos basados en un tema común que es el de la hoja.

Goethe argumentaba, para apoyar su teoría, que algunos de los órganos florales eran muy parecidos a hojas. Esto es claro para el caso de los sépalos y tal vez los pétalos. Pero en el caso de los órganos sexuales, el "proteo" de las plantas se oculta. Todas las plantas con flores, o angiospermas, tienen cuatro verticilos de órganos florales. En prácticamente todas ellas, alrededor de un cuarto de millón de especies distintas, en la periferia de la flor se encuentra el verticilo de los sépalos. Después de los sépalos se encuentran los pétalos, que generalmente son las partes más atractivas de las flores y, aunque foliosos, no suelen ser verdes sino de colores diversos. Finalmente, en los dos verticilos del centro de la flor se encuentran los elementos que sustentan los órganos reproductores y las células germinales, primero los masculinos, llamados estambres, y en el centro los carpelos. Los granos de polen son las células sexuales masculinas —algo así como los espermatozoides de los vegetales— y se encuentran dentro de unas estructuras en forma de saco (anteras), que por lo general están en la punta de los filamentos de los estambres. En el centro de la flor están los carpelos, estructuras que contienen los óvulos o gametos femeninos, que al unirse con los masculinos darán lugar a las semillas. Después de la fecundación, los carpelos se transforman en frutos con semillas dentro. Una vez que se dispersan y vuelven a germinar, las semillas repiten el ciclo vital de las plantas.

Resulta difícil pensar que los estambres y los carpelos sean hojas modificadas. Veamos el caso de un jitomate, por ejemplo. Es difícil pensar en este fruto carnoso como en una o varias hojas modificadas. Sin embargo, si lo cortamos por la mitad nos damos cuenta de que está construido por una serie de láminas gruesas envueltas sobre sí mismas que forman varias cavidades unidas al centro del fruto. Dentro de cada una de estas cavidades se encuen-

de que en el órgano de la planta que estamos acostumbrados a llamar hoja subyace quien puede esconderse o revelarse en todas las formas vegetales. Desde el principio hasta no se puede pensar en uno sin el otro".





tran las semillas. Las láminas gruesas del interior de un jitomate son justamente hojas modificadas, y las paredes de los carpelos en el resto de las plantas con flores son también hojas modificadas. En el caso de los frutos de las legumbres, como los frijoles, ejotes y chícharos, esto es mucho más claro. No sólo porque son verdes antes de secarse, como las hojas, sino porque su consistencia es foliar y en ellos se advierte la vena central de lo que fuera hoja, a lo largo de la cual se adhieren las semillas y se dobla para cerrarse sobre sí misma y formar lo que llamamos vaina.

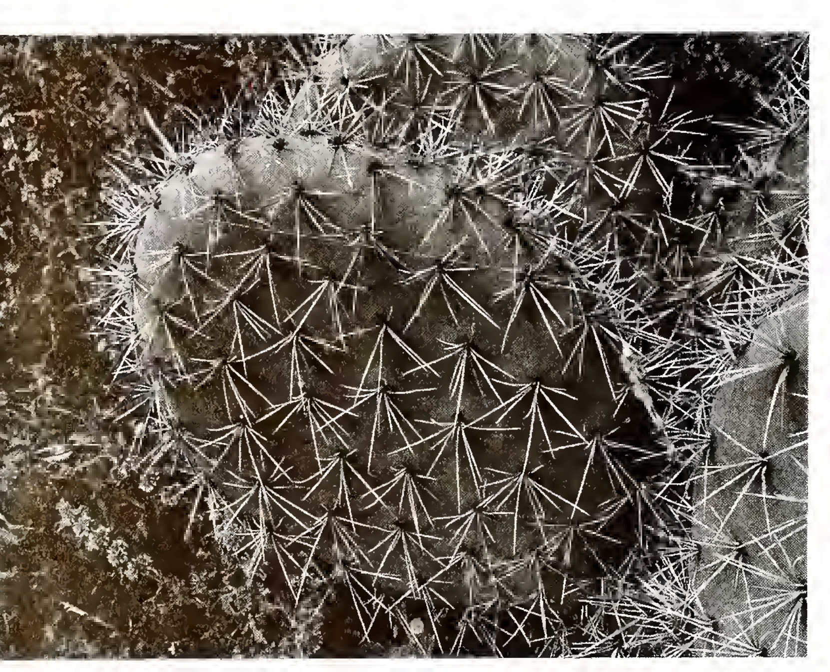
Hay hojas modificadas que parecen pétalos y esto también apoya la teoría de Goethe. Las nochebuenas y las bugambilias, flores vistosas y comunes por excelencia, no son tales. Resulta que las partes más coloridas de estas flores son hojas modificadas pintadas de rojo, morado, naranja... Estas hojas que rodean a las flores propiamente dichas se llaman brácteas. Brácteas son también las que forman esas geometrías de conjunto tan llamativas en las heliconias a punto de florecer en las selvas húmedas. A pesar de estas variantes, la evidencia que tenía Goethe entre las formas silvestres para sustentar su postulado científico era limitada. Veremos ahora cómo las aberraciones de las formas silvestres le proveyeron de datos más contundentes.

Las rosas "aberrantes" o el surrealismo de la naturaleza

Las rosas silvestres tienen sólo cinco pétalos. Sin embargo, por años se han cultivado las rosas de muchos pétalos por resultar más vistosas. Estas flores anormales con pétalos de más, a veces a expensas de los órganos reproductivos, se han perpetuado recurriendo a esquejes y brotes vegetativos por jardineros de todas las épocas. Pero la mayor parte de los botánicos de los siglos XVIII y XIX las consideraban aberrantes e indignas de estudiarse.

Para Goethe, sin embargo, estas monstruosidades no eran indignas aberraciones de la naturaleza. Por el contrario, y adelantándose a su época, encontró en ellas la evidencia fundamental de su teoría. Las rosas con pétalos supernumerarios le sugerían justamente que, bajo ciertas circunstancias, cuya naturaleza no entendía entonces, aun los órganos reproductivos se podían convertir o transformar en órganos más parecidos a hojas: pétalos. Estas aberraciones ponían de manifiesto que los órganos de la flor eran intercambiables entre sí y aquellos que no parecían tan foliosos, como los carpelos y estambres, podían convertirse en pétalos de aspecto más similar al de las hojas.

La diversidad de formas vegetales inspiró a Goethe para llegar a la conclusión de que





A pesar del sustento que encontró en las formas silvestres y aberrantes de las flores, no fue sino hasta hace poco cuando sus ideas se pudieron poner a prueba de manera experimental. Muchas de las anormalidades de las flores y otras partes de las plantas se deben a cambios o mutaciones en genes particulares. Los genes son las unidades básicas del material hereditario, que es la razón por la que los hijos se parecen a sus padres. El análisis de estas aberraciones y de los genes afectados es justamente lo que da sustento a la práctica científica moderna para entender la base genética del desarrollo de la flor y de otras estructuras complejas de los seres vivos.

A pesar de que los científicos cuentan con herramientas moleculares hace apenas 30 años, las variantes que fundamentan los modelos contemporáneos de genética del desarrollo se describieron hace mucho más tiempo. Un siglo después de Goethe el naturalista británico William Bateson acuñó el término genética. Considerado padre de esta ciencia, planteó que el estudio de la variación de las formas vivas era la base para entender la evolución biológica, y describió muchas variantes de plantas, a pesar de ser zoólogo. Entre las variantes más importantes se encuentran las que se parecen justamente a los mutantes ABC de las flores. En este tipo de variantes o mutantes, la identidad de algunas partes está alterada, tanto en plantas como en animales. Bateson escribió:

"Hechos de esta clase, tan comunes en las plantas con flores, pero en su expresión más extrema, tan raros en animales, ocupan un sitio en el estudio de la variación, parecido quizás al que ocupó el prisma en el estudio de la naturaleza de la luz".

Bateson acuñó también el término homeosis para referirse a este tipo de variación, en el que un miembro de una clase serial asume las características que normalmente se asocian a otro. Es decir, cuando una estructura adopta la identidad de otra, que generalmente se desarrolla o forma en otro sitio. Algo así como el cuadro *El modelo rojo*, del surrealista René Magritte, en el que los zapatos toman la identidad de los pies, aunque para efectos plásticos esta conversión sólo ocurre de manera parcial. Las flores mutantes que fueron utilizadas para descifrar la morfogénesis floral también son homeóticas y en ellas los órganos adoptan identidades equivocadas.

Tres tipos de flores monstruosas y con transformaciones homeóticas han ocupado el interés de los científicos contemporáneos. Estos tres tipos se nombran A, B y C, y son la base del modelo ABC de desarrollo floral que de manera simple postula

el tema unificador en la variedad vegetal era la hoja.





que, de la periferia al centro, las combinaciones de funciones genéticas que definen los cuatro anillos de la flor son: A (sépalos), AB (pétalos), BC (estambres) y C (carpelos). La importancia de este modelo sencillo es que predice cómo se alteran las identidades de los verticilos cuando fallan cada una de las tres funciones que corresponden a cada una de las tres clases de mutantes identificadas. Si se carece de la función B, la identidad de los órganos florales estará dada por la acción de la función A en los dos verticilos exteriores, y por lo tanto se diferenciarán sépalos. En estas mutantes B, la diferenciación de los dos verticilos internos estará regida por la función C únicamente y, por lo tanto, en ellos se diferenciarán carpelos. Así, en estas mutantes la fórmula floral cambia a: A(sépalos), A(sépalos), C(carpelos) y C(carpelos). En el caso de las mutantes que carecen de la función C, los estambres y carpelos se transforman por homeosis en pétalos y sépalos, respectivamente. En estas mutantes se pierde también la determinancia del meristemo floral y las células del centro de la flor se siguen dividiendo para dar lugar a flores dentro de flores con sépalos y pétalos únicamente.

Este modelo sencillo nos provee de reglas para predecir qué tipo de órgano floral se diferenciará en cada verticilo o anillo cuando desaparece una de las funciones regionales. Incluso predice el arreglo floral de las mutantes que carecen de dos, o incluso de las tres funciones ABC. En las mutantes que carecen de las tres funciones, la flor tiene sólo órganos muy parecidos a hojas. Este resultado ciertamente apoya la teoría de la metamorfosis de Goethe, pues todos los órganos florales quedan en un estado que puede considerarse de *default* o basal, al perder las funciones ABC. Éste es el estado que corresponde a la hoja. Entonces, estas tres funciones genéticas, cuya naturaleza molecular se ha descrito ya recientemente, son indispensables para la diferenciación de los distintos órganos de la flor a partir del estado basal que aparentemente coincide con el de las verdaderas hojas. Sin embargo, para completar la teoría goethiana queda pendiente la pregunta: ¿los genes que subyacen en estas funciones y que parecen ser indispensables para que en la planta se ejecute el programa de desarrollo que da lugar a los órganos de la flor, son suficientes para transformar hojas en órganos florales?

La respuesta es *no*. Sin embargo, hace poco tiempo se descubrieron unos genes adicionales a los ABC, que cuando se expresan a la vez que estos últimos, por medio de las técnicas modernas de la biología mole-

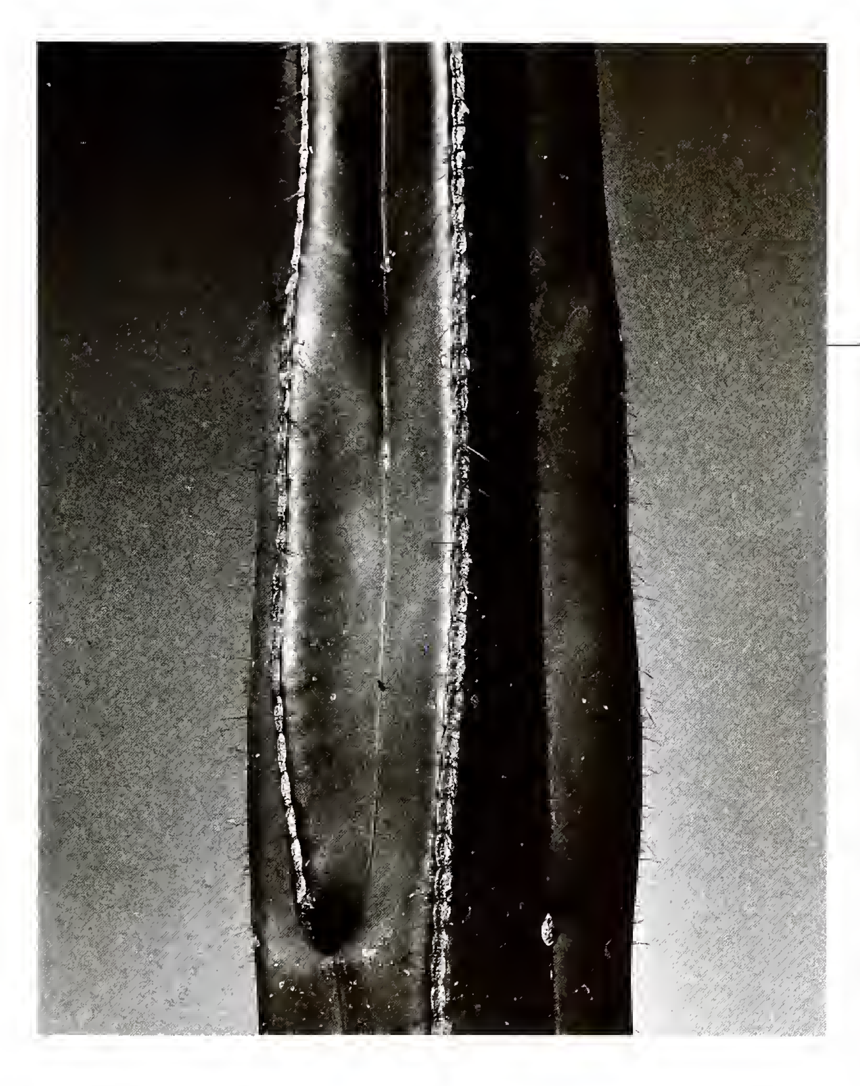


cular, en las hojas, éstas se transforman en los distintos órganos florales. ¡Algo así como el sueño dorado de Goethe! Tuvieron que pasar doscientos años para que el avance científico y tecnológico alcanzara la genialidad holística goethiana.

La idea de Goethe de que todos los apéndices de una planta son variaciones sobre un mismo tema, es ciertamente que los sépalos, pétalos, estambres, carpelos y hojas pueden parecer muy distintos entre sí pero comparten una similitud subyacente que ahora sabemos depende de las interacciones de una serie de genes que a su vez "dictan" la síntesis de proteínas. Goethe necesitaba un término para referirse al tema que unificaba los distintos órganos de una planta y decidió utilizar la palabra hoja:

"Es obvio que es necesario contar con un término general para señalar a este órgano de metamorfosis variadas, y para ser usado al comparar las manifestaciones de su forma; por lo tanto hemos adoptado la palabra hoja. Pero cuando usamos este término, debe ser con la reserva de que nos acostumbramos a relacionar los fenómenos unos con los otros en ambas direcciones. Pues podemos decir que un estambre es un pétalo contraído, igual que podemos decir que un pétalo es un estambre en estado de expansión. Y también podemos decir, de la misma forma, que un sépalo es una hoja del tallo contraída... igual que podemos decir que una hoja del tallo es un sépalo".

Goethe usaba la palabra hoja de una manera inusual para referirse al tema implícito detrás de cada órgano. Este tema, sabemos ahora, está determinado por la acción de varios genes, cuyas actividades se combinan de variadas maneras para dar lugar a la formación de los distintos órganos. Igual que en el concepto de Goethe, no hay direccionalidad, se pueden comparar los órganos e intercambiar entre sí en ambas direcciones, una vez que se consideran los genes suficientes e indispensables. Goethe resumía esta equivalencia diciendo que los distintos órganos eran variaciones sobre un mismo tema; todos son distintos tipos de hojas. Desafortunadamente, al escoger este término para designar el tema subyacente, causó confusión en algunas mentes, pues utilizamos la misma palabra para nombrar una de las variantes: las hojas del tallo. Pero Goethe no quería decir que las hojas *stricto senso*, las hojas verdes foliosas de los tallos, era un tema explícito sobre el cual todos los demás órganos se desarrollaban. Estaba usando el término hoja para referirse, de una manera más implícita, a un tema común, tanto a las hojas verdes del tallo como a los órganos de la flor. Esto es justamente lo que ahora se comprueba con los experimentos de la era molecular. Existe una serie de genes cuyas funciones conjuntas se expresan de formas variadas para definir los distintos estados metamórficos de la hoja goethiana. La hoja goethiana o tema implícito se manifiesta de distintas maneras en las distintas partes de una planta. De acuerdo con este



punto de vista, las hojas de plantas que fueron ancestros de las plantas con flores debían representar otras variaciones del mismo tema.

Las hojas de los helechos, representantes contemporáneos de algunos linajes más antiguos que aparecieron antes de los linajes que hoy día están representados por las plantas con flores, nos sirven para abundar sobre el tema hoja y sus variaciones. Los helechos no tienen flores pero también se reproducen sexualmente. Esto muestra que las hojas de éstos no son las formas primordiales que más tarde darían lugar a los órganos de las flores, como se implicaría si entendiéramos el concepto de Goethe erróneamente, a manera de un tema explícito. En contraste, las hojas o grandes frondas de los helechos son a su vez hojas verdes y órganos que sustentan las esporas en redondas estructuras o soros. Éstos se encuentran en el envés de las frondas u hojas de los helechos. Las esporas dan lugar a las células sexuales femeninas y masculinas que se fusionan para continuar el ciclo vital de los helechos. Luego las frondas de los helechos son hojas típicas, verdes y foliosas, que captan la energía solar, pero a la vez son como flores, pues sustentan las células sexuales. En las plantas con flores de evolución posterior se originaron estructuras especializadas para cada una de estas dos funciones vitales de las plantas.

Aunque hoy podemos transformar hojas en pétalos y éstos en hojas, apoyando así la teoría de la metamorforsis de Goethe, esto es sólo el comienzo del entendimiento de los mecanismos que "traducen" la información de los genes en formas vegetales. El nombre del propio modelo de desarrollo floral nos sirve para resumir esto: sólo entendemos el abc, el inicio. Los mecanismos son mucho más complejos y aún quedan muchas interrogantes. Para comprender esto, damos un ejemplo: los genes ABC son de una misma familia de secuencias. Recientemente hemos descubierto que secuencias casi idénticas caracterizan a los genes que en humanos ¡regulan el desarrollo del corazón! Este resultado sugiere que existen restricciones funcionales que han conservado a lo largo de muchos años de evolución biológica la secuencia de los genes involucrados en procesos muy distintos. Este ejemplo nos muestra que entender la naturaleza molecular, ni siquiera la de los genes maestros del desarrollo, nos sirve para entender cabalmente cómo se desarrolla una flor o un corazón a partir de un cúmulo de células indiferenciadas. Entender la forma y evolución de tan espectaculares creaciones de la naturaleza es aún menester de exploraciones futuras.

[1] Instituto de Ecología, UNAM.

[2] Fragmentos editados del texto de Elena Álvarez-Buylla Roces incluido en el libro *Formas de vida. Plantas mexicanas vistas por Mariana Yampolsky*. Instituto Nacional de Ecología-Fundación Cultural Mariana Yampolsky, A.C. México, 2003. Agradecemos a la autora, al doctor Exequiel Ezcurra y a la FCMY su autorización para reproducir aquí texto y fotos.

GUÍA DE AVES DEL AJUSCO MEDIO

La observación de las aves es una actividad que en los últimos años ha cobrado fuerza en México. Ésta conlleva, además del disfrute del campo y el ejercicio, la oportunidad de conocer, involucrarse y contribuir a la conservación tanto de este grupo de animales, como del entorno que los rodea. Para todos los aficionados a la observación de las aves, la CONABIO ofrece la *Guía de aves del Ajusco Medio*, una obra realizada por Fernando Puebla Olivares y Sofía Arenas Castillo, con hermosas ilustraciones de Marco A. Pineda.

La guía permite la identificación de 85 aves que son consideradas comunes en el Parque Ecológico de la Ciudad de México, ubicado en la sierra del Ajusco a unos cuantos kilómetros de la zona urbana de la Ciudad de México. Cada ficha incluye la ilustración de la especie, su nombre científico y común y una breve descripción de su comportamiento, sus características distintivas, dimorfismo sexual, modo de forrajeo, sitios de percha, movimientos de cortejo, etc. Además, proporciona información sobre el lugar donde habita (zona urbana, bordes del bosque, dentro del bosque, pastizal o matorral), su tipo de alimentación, si es residente o migratoria y si se encuentra dentro de alguna categoría de riesgo de acuerdo con la NOM-ECOL-059-2001.

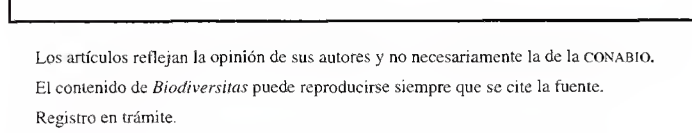
Con un formato de bolsillo e impresa en papel plastificado, está pequeña publicación invita a todos los habitantes y visitantes de la Ciudad de México a acercarnos al campo y conocer la maravillosa fauna ornitológica que todavía podemos encontrar a un paso de la inmensa ciudad.

La CONABIO tiene un centro de documentación e imágenes con libros, revistas, mapas, fotos e ilustraciones sobre temas relacionados con la biodiversidad; más de 1 500 títulos están disponibles al público para su consulta. Además distribuye cerca de 150 títulos que ha coeditado, que pueden adquirirse en sus oficinas a costo de recuperación o donarse a bibliotecas que lo soliciten. Para obtener más información, por favor llame al teléfono 5528-9172, escriba a cendoc@xolo.conabio.gob.mx, o consulte los apartados de Centro de Documentación y de Publicaciones en la página web de la CONABIO (www.conabio.gob.mx).



COMISIÓN NACIONAL
PARA EL CONOCIMIENTO
Y USO DE LA BIODIVERSIDAD

La misión de la CONABIO es promover, coordinar y apoyar actividades dirigidas a crear, organizar, actualizar y difundir la información sobre la biodiversidad de México, para lograr su conservación, uso y manejo sustentable.



Registro en trámite.

COORDINACIÓN Y FOTOGRAFÍAS: Fulvio Eccardi ASISTENTE: Rosalba Becerra
biodiversitas@xolo.conabio.gob.mx
DISEÑO: Luis Almeida, Ricardo Real PRODUCCIÓN: BioGraphica
CUIDADO DE LA EDICIÓN: Antonio Bolívar
IMPRESIÓN: Offset Rebosán, S.A. de C.V.

COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD
Liga Periférico Sur-Insurgentes 4903, Col. Parques del Pedregal, 14010 México, D.F.
Tel. 5528 9100, fax 5528 9131, www.conabio.gob.mx